

窒化チタン/酸化チタン積層膜を用いた結晶シリコンヘテロ構造の電気的特性向上

Improvement of electrical properties of crystalline silicon heterostructures using titanium nitride/titanium oxide stacked films

名大院工¹, [○]井上 徹哉¹, 後藤 和泰¹, 黒川 康良¹, 宇佐美 徳隆¹

Graduate School of Eng., Nagoya Univ.¹, [○]T. Inoue¹, K. Gotoh¹, Y. Kurokawa¹, N. Usami¹

E-mail: inoue.tetsuya@i.mbox.nagoya-u.ac.jp

【研究背景】原子層堆積法 (ALD) で作製された酸化チタン (TiO_x) は、ヘテロ接合型結晶シリコン (SHJ) 太陽電池のパッシベーションかつキャリア選択層材料として注目されている。 TiO_x のバンドギャップは約 3.45 eV と従来の SHJ 太陽電池に用いられている水素化アモルファスシリコンの 1.7 eV と比較し大きく、寄生吸収を大きく低減できる^[1]。また、 TiO_x /結晶シリコン (c-Si) の理想的なヘテロ界面は、伝導帯オフセットが小さく (< 0.05 eV)、価電子帯オフセットが大きい (> 2.0 eV) ため優れた電子選択性が期待される^[2]。さらに我々は、 TiO_x /c-Si 界面に低密度の酸化シリコン (SiO_x) 中間層を挿入することにより、表面パッシベーション性能の向上を報告した^[3]。しかし、金属電極製膜による TiO_x のパッシベーション性能の大幅な低下が課題となっている。この低下は、 TiO_x の還元や金属の c-Si への拡散に起因すると考えられる。本研究では、これらを抑制することを目的として、Al/ TiO_x 界面に TiN_z を挿入し、電気的特性に及ぼす影響を調査した。

【実験方法】両鏡面仕上げ、Fz-n 型 c-Si(100) 基板を用いた。基板表面の自然酸化膜を 5% HF で除去し、 $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O} = 1:1:4$ の混合溶液に基板を浸漬させ、約 1 nm 厚の SiO_x 膜を形成した。次に、ALD 法を用いて TiO_x 膜を製膜した。その後、直流スパッタリング法で TiN_z を、真空蒸着法で Al を製膜した。フォトルミネッセンス (PL) 法を用いてこれらの試料の 1 秒間当たりの PL カウント数 (I_{PL}) を測定した。また、接触抵抗率 (ρ_c) 測定のため、裏面に n^+ 層を形成した Cz-n 型 c-Si(100) 基板を用いた。 SiO_x 、 TiO_x 、 TiN_z を同様に製膜後、真空蒸着法を用いて裏面に Au-Sb 電極を製膜した。次に、275 °C で 3 分間の熱処理を行った。その後、表面に Al 電極を形成した。

【結果と考察】図 1 は $\text{TiO}_x/\text{SiO}_x/\text{c-Si}/\text{SiO}_x/\text{TiO}_x/\text{TiN}_z/\text{Al}$ 構造と $\text{TiO}_x/\text{SiO}_x/\text{c-Si}/\text{SiO}_x/\text{TiO}_x/\text{Al}$ 構造の PL イメージである。 TiN_z を用いることで、より大きな PL カウント数が得られた。これは、 TiN_z の製膜により Al の固相内拡散と TiO_x の還元が抑制されたためだと考えられる。また、Al/ $\text{TiN}_z/\text{TiO}_x/\text{SiO}_x/\text{n-Si}$ と Al/ $\text{TiN}_z/\text{TiO}_x/\text{SiO}_x/\text{n-Si}$ 構造の ρ_c は、それぞれ 30.9 と 28.3 $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ であり、 TiN_z の製膜による ρ_c の顕著な増大はなかった。これらの結果から TiN_z 中間層によって低い接触抵抗を保ちつつ、金属製膜によるパッシベーション性能の低下を抑制できることがわかった。

【謝辞】本研究は NEDO の支援を受けて行われた。

【参考文献】[1] J. Bullock *et al.*, ACS Energy Lett. **3**, 508-513 (2018). [2] X. Yang *et al.*, Adv. Mater. **28**, 5891-5897 (2016). [3] T. Mochizuki *et al.*, Adv. Mater. Interfaces **6**, 1801645 (2018).

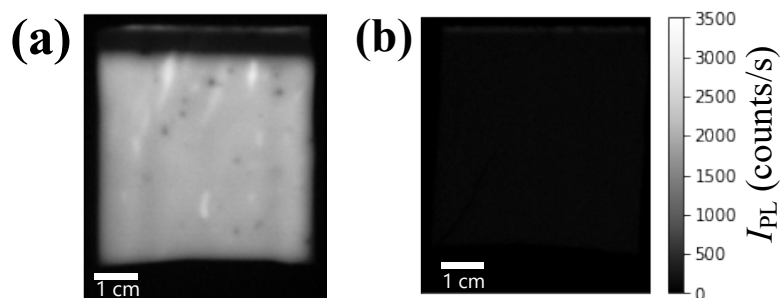


Figure 1. PL images of the heterostructures (a) with and (b) without the TiN_z layer after annealing at 275 °C for 3 min.